

氏 名	山下 順広
学 位 の 種 類	博士（工学）
学 位 記 番 号	博甲第982号
学位授与の日付	平成20年3月22日
学位授与の要件	課程博士(学位規則第4条第1項)
学位授与の題目	ウィスカ形触覚センサによる接触領域の認識と呈示方法の研究
論文審査委員（主査）	立矢 宏（自然科学研究科・准教授）
論文審査委員（副査）	神谷 好承（自然科学研究科・教授），浅川 直紀（自然科学研究科・准教授）， 関 啓明（自然科学研究科・准教授），滑川 徹（自然科学研究科・准教授）

### Abstract

This study deals with a tactile sensor composed of multi artificial whiskers. The sensor can distinguish contact objects by the neural network from the combination of deformations of plural whiskers. The study firstly proposes a recognition method that uses an equivalent whisker composed of plural whiskers. The method can recognize arbitrarily-sized contact objects by the same neural network if the number of the used whiskers is varied. The above-mentioned method can distinguish only provided objects. Thus, the study secondly proposes a method of displaying surface shape of contact objects from the measurement results with the tactile sensor. The method presses the array of whiskers against an object and recognizes the characteristic features of the surface. From the obtained results, the method displays the surface shape. By applying the conventional image processing method to the displayed results, various objects can be distinguished. The above method, however, needs a larger number of whiskers to recognize the wider surface, because the array of whiskers has to be in full contact with the entire surface. The study, therefore, proposes a method by dragging a smaller number of the whiskers across an object and measuring each whisker deflection direction at discrete time intervals. The study confirms the method can display the shape of whole surface from the measured results as well as the above method.

### 学位論文和文要旨

近年、工場のみならず、家庭環境で使用可能なロボットの開発が多数検討されている。ロボットには、様々な環境に対応できるよう周囲の物体を認識する能力が必要である。周囲の物体を認識するセンサとしては視覚センサが代表的である。視覚センサを用いる場合、物体の距離は距離情報や検知した画像の濃度分布等から行う。しかし、視覚センサによる物体の認識は照明等の影響を受けやすく、また、透明な物体、障害物などで遮蔽された物体などの認識は困難である。

以上のような視覚では認識が難しい物体を人間は触覚を利用して認識する。触覚そのものは、対象物の形状、種類を正確にとらえにくい感覚である。しかし、我々が厚手の手袋をして作業を行うときに把持状態、物体の表面形状などがわからず不便を感じるように補助的な感覚として触覚は重要である。また、触覚は生物の体表全体に存在し、予想が困難な周囲の物体との接触、他の物体の接近などを認識するためにも有用である。

すなわち触覚は、日常生活現場で人間と同様な作業を人間と接しながら行うことを目的

としているヒューマノイドロボットには必須である。そこで、ロボットを対象とした触覚センサの開発が多数検討されている。触覚センサの代表的なものとして、感圧導電性ゴムや圧電素子などを用いたものなど様々なものがあるが、これらは一般に高価で扱いが容易でない。そこで本研究では、接触の検知のしやすさや低コストである点に注目し、動物の体毛を模倣したウィスカを利用した触覚センサを検討する。

本論文で検討するセンサは、対象物の正確な寸法の計測を目的とするものではなく、作業対象物を簡便に識別することを目的とする。先に、同センサに関して図1（1）に示すようなウィスカを平面上に複数配置した図1（2）に示す触覚センサで、物体との接触により生じるウィスカのおおよそのたわみ方向を検知し、同結果から対象物の種類、位置などを識別する方法を検討している。同センサは対象物を正確に測定するには適さないが、ロボットなどが視覚センサを使用できない状況下で作業対象物を簡便に見分けるために有用である。また、比較的廉価な部品で構成されるため低コストで製作でき、ロボットなどの各部位に容易に装着し用いることができる。しかし、これまで提案した対象物の認識方法は、少数のウィスカが配置された領域で接触可能なあらかじめ想定した球や角柱など、比較的単純な小形物体に限られた。

そこで本論文では、複数のウィスカからなる触覚センサを用い、形状が既知な物体に対して、その大きさが変化した場合もウィスカの数を増減し、センサの接触領域を変化させることで、物体の種類、位置、姿勢が容易に認識可能となる方法を検討する。さらに、形状が既知でない場合であっても触覚センサを用いた認識を可能にする方法として、ウィスカのたわみ方向の検知結果から接触面の特徴的な形状を認識し呈示する方法を提案する。得られた呈示結果に従来の画像処理方法を適用し、対象物を構成するいくつかの特徴的な

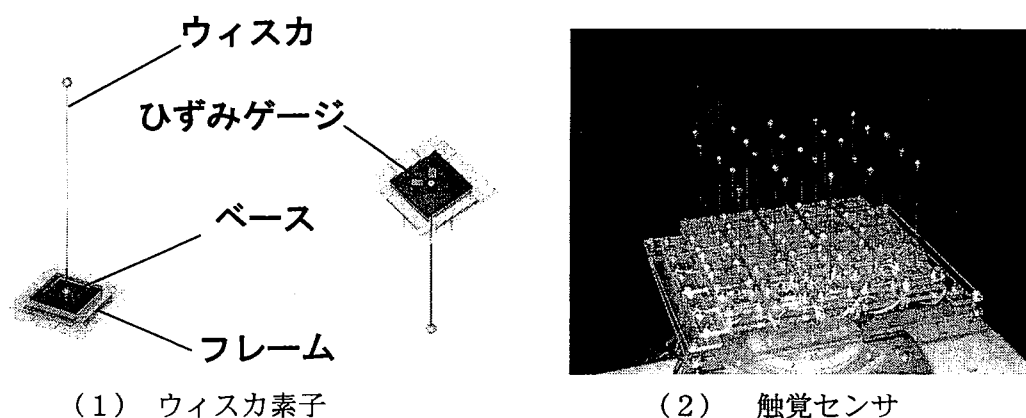


図1 触覚センサの構成

形状を抽出することで対象物が識別可能となることを確認する。また、以上の認識方法では、表面形状の大きさに応じた本数のウィスカを必要とし、ウィスカの配置間隔以下の形状を認識できず、さらに、センサを押しつけた際にウィスカがランダムな方向へたわむ平面の認識が行えない。そこで、ウィスカを対象物に接触させながら移動させ、その時に生じるウィスカのたわみ方向を逐次検知して表面形状の認識を行う方法をさらに検討する。同方法を用い、少数のウィスカからなる触覚センサで広範囲にわたり接触面形状が呈示可能であることを示す。

本論文は6章から構成されている．その要旨を要約すると以下ようになる．

第1章では「緒論」として、上述のようなウィスカ形触覚センサの研究の背景と目的について述べる．

第2章では、触覚センサの構成、構造および各部品について述べる．つぎに、各ウィスカ素子におけるニューラルネットワークを用いたウィスカのたわみ方向の学習、認識方法について述べるとともに、たわみ方向を認識するニューラルネットワークを実際に構築し、精度よく認識が行えることを示す．

第3章では、まず、複数のウィスカからなる触覚センサを用い、形状が既知な複数の物体に対して、その大きさが異なる相似な物体でも、図2に示すような複数のウィスカを1本の等価なウィスカとみなすことで、ニューラルネットワークを構築し直すことなく、物体の種類、位置、姿勢を認識可能とする方法を提案する．さらに、複数のウィスカからなる触覚センサを用い、等価ウィスカによる対象物認識方法で、実際に種々の大きさの接触物の識別が可能であることを示す．

第4章では、形状が既知でない対象物を触覚センサで識別可能とするために、対象とする物体が傾斜した平面、線および頂点で構成されるとし、これらの情報を呈示する方法を検討する．さらに、試作した触覚センサを用いた認識実験を行い、提案する表面形状呈示方法の妥当性を確認する．例として、三角錐を試作した触覚センサに接触させ、得られた呈示結果を図3に示す．また、得られた呈示結果に従来の画像処理技術を応用することにより、接触表面形状の識別が可能となることを述べる．

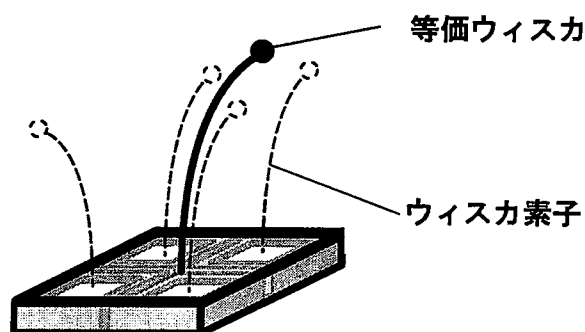


図2 等価ウィスカ

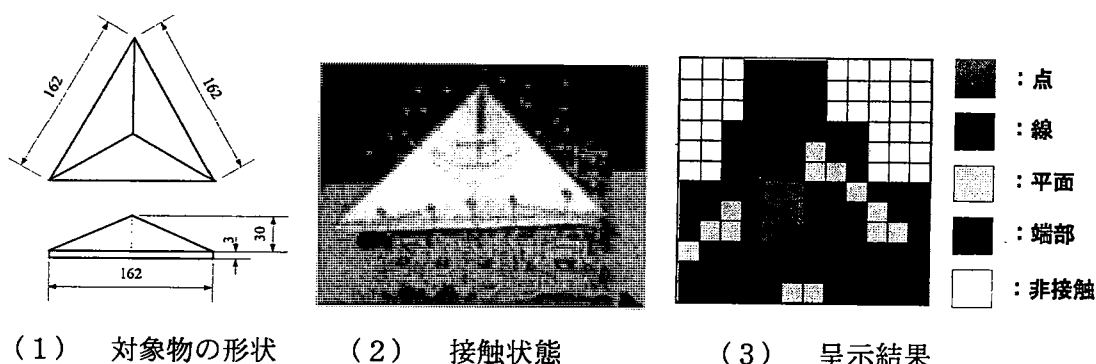


図3 三角錐の認識と呈示

第5章では、小数のウィスカを用いて接触物表面形状の呈示を可能とするために、ウィスカ形触覚センサで対象物をなぞり得られたウィスカのたわみ方向の変化から表面形状を認識・呈示する方法を提案する。さらに、実験により各種対象物の表面形状が第4章と同様に物体が平面、線および点で構成されるとし、その形状を呈示可能であることを述べる。

第6章は、本研究の結論であり、本研究で得られた結果を要約して述べる。

### 学位論文審査結果の要旨

当該学位論文に関し、平成20年1月29日、第1回学位論文審査委員会を開催し、提出された学位論文および関連資料について詳細に検討した。平成20年2月1日の口頭発表後、第2回学位論文審査委員会を開催し、慎重に協議の結果、以下の通り判定した。

本論文では、複数のウィスカで構成され、ウィスカのたわみ変形からニューラルネットワークを用い対象物の種類、位置などを認識する触覚センサに関して、ウィスカの本数が変化した場合に複数のウィスカを1本の等価なウィスカと見なすことで、大きさの異なる相似形状の物体を、ニューラルネットワークの再構築を必要とせず認識可能とする方法を提案している。また、ウィスカのたわみ方向から接触表面の特徴を呈示し、同呈示結果から画像処理の技法を利用して、形状が複雑な接触物の認識を行う方法を提案している。さらに、少数のウィスカを用いて接触物表面形状の呈示を可能とするために、ウィスカ形触覚センサで対象物表面をなぞり得られたウィスカのたわみ方向の変化から表面形状を呈示する方法を提案し、実際に各種対象物の表面形状が呈示できることを示している。

以上のように本論文はウィスカ形触覚センサを実用化するための新しい認識および呈示方法を提案しており、その成果の工業への貢献度は高いと予想され、学術的価値も高いと評価できる。よって、本論文は博士（工学）論文に値すると判定する。